

①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Offenlegungsschrift
⑪ DE 3942623 A1

⑤1 Int. Cl. 5:
H03H 9/15
H 03 H 9/54
// H03H 3/02

②1 Aktenzeichen: P 39 42 623.8
②2 Anmeldetag: 22. 12. 89
④3 Offenlegungstag: 28. 6. 90

DE 3942623 A1

③0 Unionspriorität: ③2 ③3 ③1
23.12.88 JP P 327253/88 23.12.88 JP P 327254/88
23.12.88 JP P 327255/88

⑦1 Anmelder:
Murata Mfg. Co., Ltd., Nagaokakyo, Kyoto, JP

⑦4 Vertreter:
ter Meer, N., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat.; Müller, F.,
Dipl.-Ing., 8000 München; Steinmeister, H.,
Dipl.-Ing.; Wiebusch, M., Pat.-Anwälte, 4800
Bielefeld

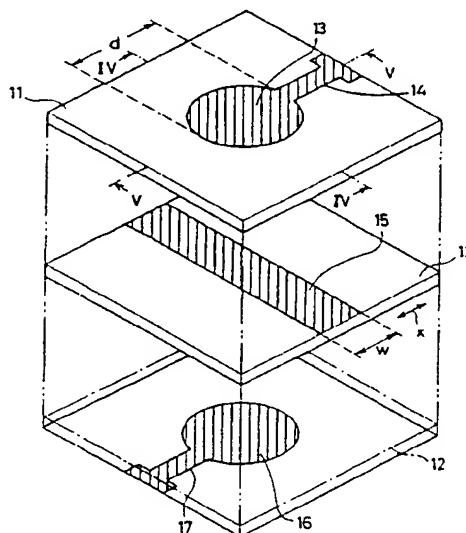
⑦2 Erfinder:
Ando, Akira; Kittaka, Toshihiko; Tamura, Hiroshi;
Toyoshima, Isao, Nagaokakyo, Kyoto, JP

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Piezoelektrische Resonanzeinrichtung und Verfahren zu ihrer Herstellung

Eine piezoelektrische Resonanzeinrichtung zur Bildung einer Energiefalle durch Frequenzherabsetzung ist so gestaltet, daß eine Oberschwingung der Längsschwingungsmoden angeregt werden kann. Die Resonanzeinrichtung wird durch einen plattenförmigen Körper aus piezoelektrischem Material gebildet, der drei einander überlappende, durch Schichten (11, 12) des piezoelektrischen Materials voneinander getrennte Elektroden (13, 15, 16) aufweist und durch Anlegen einer Spannung an die innere Elektrode (15) und die äußeren Elektroden (13, 16) polarisiert wurde. Der Durchmesser (d) der beispielsweise kreisförmigen äußeren Elektroden (13, 16) ist größer als die Breite (w) der inneren Elektrode (15). Hierdurch wird eine größere Toleranz gegenüber Ungenauigkeiten bei der Überlappung der Elektroden erreicht, ohne daß unerwünschte Streukapazitäten entstehen.

FIG.3



DE 3942623 A1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine piezoelektrische Resonanzeinrichtung gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 und ein Verfahren zur Herstellung einer solchen Resonanzeinrichtung. Eine derartige Resonanzeinrichtung dient als Energiefalle und arbeitet mit einer Oberschwingung der Dickenausdehnungs-Schwingungs-
 5 (Längsschwingungsmode). Insbesondere befaßt sich die Erfindung mit einer verbesserten Elektrodenanordnung in einer solchen Resonanzeinrichtung.

In der US-Patentanmeldung Serial No. 2 11 777 vom 27. 06. 1988 wird eine piezoelektrische Resonanzeinrichtung beschrieben, die im Bereich hoher Frequenzen eingesetzt werden kann und mit einer höheren Oberschwin-
 10 gung der Dickenausdehnungsmode arbeitet. Bei dieser Resonanzeinrichtung sind mehrere zum Energieeinfang dienende Arbeitselektroden so angeordnet, daß sie einander im Grundriß überlappen und durch piezoelektrische Keramikschichten in einem gesinterten Körper aus co-gebrannter (cofired) piezoelektrischer Keramik voneinander getrennt sind. Die Resonanzeinrichtung ist somit derart aufgebaut, daß die Oberschwingung der Dickenausdehnungs-
 15 mode in einem Gebiet eingeschlossen ist, in welchem sich die Arbeitselektroden überlappen.

Da in der oben beschriebenen piezoelektrischen Resonanzeinrichtung eine Oberschwingung der Längsschwingungs-
 20 mode in Richtung der Dicke der Keramikschichten angeregt wird, erscheint eine erste Resonanz der Längsschwingungs-
 mode in einem höheren Frequenzbereich als bei einer herkömmlichen piezoelektrischen Resonanzeinrichtung, bei der die als Energiefalle dienenden Arbeitselektroden auf den beiden Hauptflächen einer einzelnen Platte aus piezoelektrischer Keramik ausgebildet sind. Die oben beschriebene Resonanzeinrichtung kann deshalb im Bereich höherer Frequenzen eingesetzt werden. Darüber hinaus kann die Oberschwingung auch dann angeregt werden, wenn ein piezoelektrisches Material mit einer Poisson-Zahl von weniger als $\frac{1}{3}$ verwendet wird. Solche Materialien konnten bisher nicht in als Energiefallen arbeitenden piezoelektrischen Resonanzeinrichtungen eingesetzt werden. Durch den oben beschriebenen Aufbau der Resonanzeinrichtung wird somit eine geeignete Auswahl aus einer größeren Vielfalt von piezoelektrischen Materialien ermöglicht.

Allerdings muß bei einer piezoelektrischen Resonanzeinrichtung der oben beschriebenen Art die Vielzahl der Arbeitselektroden so sorgfältig zwischen den piezoelektrischen Keramikschichten des gesinterten Körpers angeordnet werden, daß eine präzise Überlappung gewährleistet ist. Andernfalls würden die piezoelektrischen Eigenschaften erheblich streuen. Es erweist sich jedoch als schwierig, einen Versatz zwischen den Positionen der einzelnen Elektroden zu vermeiden. Aus diesem Grund sind bei der Massenherstellung der Resonanzeinrichtungen umständliche Arbeiten zur Bestimmung der piezoelektrischen Eigenschaften der Produkte und zum Selektieren der Produkte mit akzeptablen Eigenschaften erforderlich.

Andererseits ist es denkbar, die oben erwähnte Streuung der piezoelektrischen Eigenschaften der Resonanzeinrichtungen zu vermeiden, indem man die in Fig. 1 gezeigte Elektrodenanordnung verwendet. In Fig. 1 sind zwei ungebrannte Keramikschichten 1 und 2 überlagert, und eine Leitpaste zur Bildung einer Arbeitselektrode 3 und einer leitfähigen Anschlußbahn 4 ist auf die obere Oberfläche der Keramikschicht 1 aufgetragen. Die durch die Leitpaste gebildeten Elektroden und Anschlußbahnen werden strenggenommen erst bei dem anschließenden Sintern des Keramikkörpers fertiggestellt, doch werden in dieser Beschreibung für die mit Leitpaste bedeckten Oberflächenbereich der ungebrannten Keramikschichten die gleichen Bezugszeichen verwendet wie für die fertigen Elektroden und Anschlußbahnen.

Die ungebrannte Keramikschicht 2 ist auf ihrer gesamten Oberfläche mit einer Leitpaste 5a bedeckt. Auf der unteren Oberfläche der Keramikschicht 2 ist Leitpaste zur Bildung einer Elektrode 6 und einer Anschlußbahn 7 aufgetragen.

Die in Fig. 1 gezeigten ungebrannten Keramikschichten 1 und 2 werden übereinandergeschichtet und gemeinsam gebrannt (co-gebrannt) und anschließend polarisiert, so daß man die in Fig. 2 gezeigte piezoelektrische Resonanzeinrichtung 8 erhält. Bei der Resonanzeinrichtung 8 nimmt die in der Mitte des Keramikkörpers auf der oberen Oberfläche der Keramikschicht 2 ausgebildete Elektrode 5a die gesamte Fläche der Keramikschicht ein. Folglich kann keine Änderung des Überlappungsgrades zwischen der Elektrode 5a und den Arbeitselektroden 3 und 6 auf der Oberseite und Unterseite des Keramikkörpers auftreten.

Bei dieser Anordnung werden jedoch Streukapazitäten zwischen der gesamten Oberfläche der Elektrode 5a und den Anschlußbahnen 4 und 7 auf der Ober- und Unterseite erzeugt. Diese Streukapazitäten führen zur Anregung von störenden Schwingungsmethoden im Frequenzband zwischen der Reihen-Resonanzfrequenz und der Antiresonanzfrequenz oder Parallelresonanzfrequenz. Darüber hinaus bewirken diese Streukapazitäten eine Verringerung der Parallelresonanzfrequenz und des Widerstands bei der Parallelresonanzfrequenz, so daß sich das Frequenzband zwischen der Resonanzfrequenz und der Parallelresonanzfrequenz verengt. Wenn die piezoelektrische Resonanzeinrichtung 8 als Schwingungsgeber oder dergleichen eingesetzt wird, bewirken die Streukapazitäten Störungen wie beispielsweise eine Unterbrechung der Schwingung.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine piezoelektrische Resonanzeinrichtung zu schaffen, bei der einerseits störende Schwingungen, die die Oberschwingung der Längsschwingungs-
 60 mode überlagern, wirksam unterdrückt werden und bei der andererseits die elektromechanischen Eigenschaften möglichst wenig durch Positionsverschiebungen der Elektroden relativ zueinander beeinflusst werden.

Erfindungsgemäße Lösungen dieser Aufgabe sind in den Ansprüchen 1 und 7 sowie in dem Verfahrensanspruch 8 angegeben, der sich auf ein Verfahren zur Herstellung einer vom Gegenstand der Ansprüche 1 und 7 verschiedenen Resonanzeinrichtung bezieht.

Bei der erfindungsgemäßen Resonanzeinrichtung sind die Formen und Abmessungen der zur Bildung der Energiefalle dienenden Elektroden derart gewählt, daß einerseits der Grad der Überlappung der Elektroden möglichst unabhängig von Positionsverlagerungen der Elektroden relativ zueinander ist und andererseits die Bildung von Streukapazitäten vermieden wird.

Der Durchmesser bzw. die Seitenlänge wenigstens einer der auf den Außenflächen des Schichtkörpers

angebrachten Arbeitselektroden, die beispielsweise einen kreisförmigen oder polygonalen Grundriß aufweisen, ist größer gewählt als der Durchmesser oder die Breite der inneren Elektrode oder Elektroden. Je größer die Abmessungen der äußeren Arbeitselektroden sind, desto größer ist die Toleranz gegenüber Positionsabweichungen der inneren Elektrode. Auf diese Weise wird die Auswirkung von relativen Lageänderungen der einander überlappenden Elektroden auf die piezoelektrischen Eigenschaften der Resonanzeinrichtung wesentlich verringert. Außerdem kann die Anordnung der Elektroden so gewählt werden, daß störende Schwingungsmoden in dem Frequenzband zwischen der Resonanzfrequenz und der Parallelresonanzfrequenz wirksam unterdrückt werden.

Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

In einer speziellen Ausführungsform der Erfindung wird wenigstens eine der im Inneren des plattenförmigen Schichtkörpers angeordneten Elektroden durch eine Vielzahl von Elektrodenabschnitten gebildet, die nicht elektrisch miteinander verbunden sind.

Im folgenden werden bevorzugte Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand der Zeichnungen näher erläutert. Es zeigt

Fig. 1 eine perspektivische Explosionsdarstellung der ungebrannten Keramikschichten und Elektroden einer theoretisch denkbaren, nicht vorbekannten piezoelektrischen Resonanzeinrichtung, die einen Zwischenschritt auf dem Weg zu der erfindungsgemäßen Lösung darstellt;

Fig. 2 einen Schnitt durch die Resonanzeinrichtung gemäß **Fig. 1**;

Fig. 3 eine perspektivische Explosionsdarstellung der ungebrannten Keramikschichten und Elektroden einer piezoelektrischen Resonanzeinrichtung gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung;

Fig. 4 einen Schnitt durch die fertiggestellte Resonanzeinrichtung entsprechend der Linie IV-IV in **Fig. 3**;

Fig. 5 einen Schnitt durch die fertiggestellte Resonanzeinrichtung entsprechend der Linie V-V in **Fig. 3**;

Fig. 6 ein Diagramm zur Illustration der Beziehung zwischen dem elektromechanischen Kopplungskoeffizienten und dem Ausmaß der Positionsverlagerung zwischen den Elektroden bei dem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung und einem Vergleichsbeispiel;

Fig. 7 Impedanz- und Phasenverschiebungskurven für die Resonanzeinrichtungen gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung und dem Vergleichsbeispiel;

Fig. 8 eine Explosionsdarstellung der ungebrannten Keramikschichten und Elektroden einer piezoelektrischen Resonanzeinrichtung gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung;

Fig. 9 einen Schnitt durch die fertiggestellte Resonanzeinrichtung gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel, entsprechend der Linie IX-IX in **Fig. 8**;

Fig. 10 einen Schnitt durch die fertiggestellte Resonanzeinrichtung entsprechend der Linie X-X in **Fig. 8**;

Fig. 11 Impedanzkurven der piezoelektrischen Resonanzeinrichtung gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung und gemäß einem Vergleichsbeispiel;

Fig. 12 eine Schnittdarstellung zur Erläuterung eines Beispiels für die Polarisierung der Resonanzeinrichtung gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung;

Fig. 13A und 13B Grundriß- und Schnittdarstellungen einer Abwandlung des zweiten Ausführungsbeispiels der Erfindung;

Fig. 14 eine Explosionsdarstellung der Keramikschichten und Elektroden einer piezoelektrischen Resonanzeinrichtung gemäß einem dritten Ausführungsbeispiel der Erfindung;

Fig. 15 eine perspektivische Darstellung zur Illustration des Verfahrens zur Polarisierung der Resonanzeinrichtung;

Fig. 16 einen Schnitt durch den polarisierten Keramikkörper gemäß dem dritten Ausführungsbeispiel der Erfindung;

Fig. 17 eine teilweise weggebrochene Grundrißdarstellung zur Erläuterung der durch Ätzen erzeugten Formen der Arbeitselektroden;

Fig. 18 eine Grundrißdarstellung der Resonanzeinrichtung gemäß dem dritten Ausführungsbeispiel der Erfindung; und

Fig. 19A, 19B, 19C Grundrißdarstellungen zur Erläuterung weiterer Beispiele für streifenförmige Elektroden.

Nachfolgend soll zunächst anhand der **Fig. 3** das Verfahren zur Herstellung einer piezoelektrischen Resonanzeinrichtung gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung erläutert werden.

Zur Bildung des piezoelektrischen Körpers der Resonanzeinrichtung werden zwei ungebrannte Keramikschichten (Grünschnitten) **11** und **12** aus einem piezoelektrischen Material des PZT ($\text{PbTiO}_3 - \text{PbZrO}_3$)-Systems hergestellt. Auf der oberen Oberfläche der ersten Grünschnitten **11** wird Elektrodenpaste in einen Bereich **13**, der eine Arbeitselektrode für den Energieeinfang bildet, und in einem Bereich **14** aufgetragen, der eine Anschlußbahn für die Arbeitselektrode bildet.

Eine leitfähige Elektrodenpaste **15** wird in einem rechteckigen Bereich auf die obere Oberfläche der zweiten Grünschnitten **12** aufgetragen. Der mit der Elektrodenpaste **15** versehene Bereich ist so positioniert, daß er in Richtung der Dicke der Grünschnitten **11** und **12** mit dem Elektrodenbereich **13** überlappt.

Der Durchmesser d des Elektrodenbereichs **13** auf der oberen Oberfläche der Grünschnitten **11** ist größer als die Breite w des rechteckigen Elektrodenbereichs **15** auf der zweiten Grünschnitten **12**. Hierdurch läßt sich auf einfache Weise die gewünschte Überlappung der Elektrodenbereiche **13** und **15** erreichen, wenn die Grünschnitten **11** und **12** aufeinandergelegt werden.

Weiterhin wird Elektrodenpaste in Bereichen **16** und **17**, die eine weitere Elektrode für den Energieeinfang und eine Anschlußbahn für diese Elektrode bilden, auf die untere Oberfläche der zweiten Grünschnitten **12** aufgetragen.

Die keramischen Grünschnitten **11** und **12** werden in dem in **Fig. 3** gezeigten Zustand übereinandergelagt, nach Druckausübung in Richtung ihrer Dicke gesintert und anschließend einer (weiter unten näher beschriebenen

nen) Polarisationsbehandlung unterzogen, so daß sich schließlich die in Fig. 4 und 5 gezeigte piezoelektrische Resonanzeinrichtung ergibt. Bei der fertiggestellten Resonanzeinrichtung bilden die Keramiksichten 11 und 12 einen gesinterten Körper 10, der mit Elektroden 13, 16 auf den entgegengesetzten äußeren Oberflächen und einer Elektrode 15 im Inneren versehen ist. Die Polarisationsbehandlung wird durchgeführt, indem man eine positive Spannung an die an einer Stirnfläche des gesinterten Körpers freiliegende Elektrode 15 und eine negative Spannung an die Elektroden 13 und 16 anlegt. Auf diese Weise werden die beiden piezoelektrischen Keramiksichten 11 und 12 in Richtung ihrer Dicke gegensinnig polarisiert, wie durch Pfeile in Fig. 4 und 5 angedeutet wird.

Im Betrieb kann die piezoelektrische Resonanzeinrichtung zu einer Resonanzschwingung angeregt werden, indem man eine positive oder negative Spannung über die Anschlußbahn 14 an die Elektrode 13 und die jeweils entgegengesetzte Spannung über die Anschlußbahn 17 an die Elektrode 16 anlegt. In der Resonanzeinrichtung wird auf diese Weise ähnlich wie bei der in Fig. 2 gezeigten Resonanzeinrichtung eine Oberschwingung der Längsmode angeregt, in der die Keramiksichten in Richtung ihrer Dicke periodisch gedehnt und komprimiert werden. Auf diese Weise läßt sich eine piezoelektrische Resonanzeinrichtung verwirklichen, die bei höheren Frequenzen als herkömmliche, lediglich durch eine einzige piezoelektrische Platte gebildete Resonanzeinrichtungen arbeitet.

Im folgenden sollen die Ergebnisse von Versuchen beschrieben werden, bei denen die Breite w der inneren Elektrode 15 variiert wurde. Es wurden erste und zweite Grünsichten 11 und 12 mit einer Grundfläche von 3×3 mm und einer Dicke von 0,25 mm hergestellt. Aus diesen Grünsichten wurde nach dem oben beschriebenen Verfahren eine piezoelektrische Resonanzeinrichtung hergestellt, bei der die Breite w der rechteckigen inneren Elektrode 15 1,2 mm und der Durchmesser d der kreisförmigen Elektroden 13 und 16 auf den Außenflächen der Grünsichten 11 und 12 jeweils 1,5 mm betrug. Als Vergleichsbeispiel wurde eine piezoelektrische Resonanzeinrichtung hergestellt, die sich von dem oben beschriebenen Ausführungsbeispiel lediglich dadurch unterschied, daß die Breite w der inneren Elektrode 15 1,5 mm betrug.

Es wurde eine Vielzahl piezoelektrischer Resonanzeinrichtungen hergestellt, die entsprechend dem oben beschriebenen Ausführungsbeispiel und dem Vergleichsbeispiel aufgebaut waren und bei denen jeweils die Mitte der Elektrode 13 auf der oberen Oberfläche der Keramiksicht 11 und die Mitte der inneren Elektrode 15 um einen bestimmten Betrag l in der Richtung x in Fig. 3, d. h., in Querrichtung der rechteckigen Elektrode 15, gegeneinander versetzt war. Die auf diese Weise bei dem Ausführungsbeispiel und dem Vergleichsbeispiel ermittelten Beziehungen zwischen dem elektromechanischen Kopplungskoeffizienten k_t und dem Versatz l der Elektroden sind graphisch in Fig. 6 dargestellt.

Bei dem Ausführungsbeispiel, bei dem die Breite der Elektrode 15 1,2 mm beträgt, wird der elektromechanische Kopplungskoeffizient k_t nicht beeinträchtigt, solange der Versatz l nicht über 0,15 mm hinausgeht. Bei dem Vergleichsbeispiel führt dagegen bereits ein geringfügiger Versatz l zwischen den Elektroden 13 und 15 zu einer deutlichen Abnahme des elektromechanischen Kopplungskoeffizienten k_t .

Weiterhin wurde bei dem oben beschriebenen Ausführungsbeispiel und dem Vergleichsbeispiel das Vorhandensein und das Ausmaß von störenden Resonanzen in dem Frequenzband zwischen der Resonanzfrequenz und der Parallelresonanzfrequenz gemessen. Die Ergebnisse dieser Messungen sind in Tabelle 1 wiedergegeben.

Tabelle 1

	Phasenverschiebung	< 0,5	0,5 — 2	2 — 10	> 10
	Ausführungsbeispiel	81/87	6/87	0/87	0/87
	$w = 1,2$ mm				
	Vergleichsbeispiel	67/93	19/93	6/93	1/93
	$w = 1,5$ mm				

Zur Bewertung der störenden Resonanzen ist in Tabelle 1 der Betrag der Phasenverschiebung angegeben. Wenn bei der in Fig. 7 gezeigten Impedanzkurve in dem Frequenzbereich zwischen der Resonanzfrequenz f_r und der Parallelresonanzfrequenz f_a eine durch störende Schwingungen bedingte Verzerrung auftritt, so tritt auch eine spitzenförmige Verzerrung in der Phasenkennlinie auf, die in Fig. 7 durch eine gestrichelte Linie dargestellt ist. Die Tiefe der spitzenförmigen Verzerrung der Phasenkennlinie entspricht dem in Tabelle 1 angegebenen Betrag der Phasenverschiebung. Diese Phasenverschiebung entspricht der Stärke der störenden Resonanz.

In der Tabelle ist für die verschiedenen Bereiche der Phasenverschiebungen jeweils die Anzahl der Prüflinge, bei denen die Phasenverschiebung in dem betreffenden Bereich lag, im Verhältnis zur Gesamtzahl der Prüflinge angegeben. Es zeigt sich, daß bei dem Ausführungsbeispiel der Erfindung gegenüber dem Vergleichsbeispiel eine wirksame Unterdrückung der störenden Resonanzen in dem Frequenzband zwischen der Resonanzfrequenz f_r und der Parallelresonanzfrequenz f_a erreicht wird.

Bei dem oben beschriebenen Ausführungsbeispiel sind lediglich drei einander überlappende Elektroden zum Energieeinfang vorgesehen. Die Erfindung ist jedoch in entsprechender Weise auch bei piezoelektrischen Resonanzeinrichtungen zum Energieeinfang durch Frequenzherabsetzung anwendbar, bei denen für den Energieeinfang vier oder mehr durch piezoelektrische Schichten getrennte und einander überlappende Elektroden vorgesehen sind.

Auch die Formen der Elektroden sind nicht auf die Kreisform für die Elektroden auf den äußeren Oberflächen und auf die Rechteckform oder polygonale Form für die inneren Elektroden beschränkt. Die Elektrodenformen können je nach Anwendungszweck variiert werden.

* Unter Bezugnahme auf Fig. 8 wird nachfolgend ein Verfahren zur Herstellung einer piezoelektrischen Resonanzeinrichtung gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung erläutert. Die Schritte des Herstellungsverfahrens stimmen weitgehend mit den Schritten des Verfahrens nach dem ersten Ausführungsbeispiel überein. Es sollen deshalb nachfolgend nur die Unterschiede zu dem bereits beschriebenen Verfahren erläutert werden.

Bei diesem Ausführungsbeispiel wird Elektrodenpaste derart streifenförmig auf die obere Oberfläche der unteren Grünschlicht 12 aufgetragen, daß eine Vielzahl geradliniger, streifenförmiger Elektroden 15a bis 15j in einem Bereich gebildet wird, der in der Draufsicht auf die Grünschlachten 11 und 12 mit dem Elektrodenbereich 13 überlappt. Anstelle der inneren Elektrode 15 bei dem ersten Ausführungsbeispiel ist somit bei diesem Ausführungsbeispiel eine Vielzahl streifenförmiger Elektroden 15a bis 15j vorgesehen.

Die Elektroden 15a bis 15j müssen nicht notwendigerweise als geradlinige Streifen ausgebildet sein, sondern können auch gekrümmt, beispielsweise schlangenförmig ausgebildet sein, sofern sichergestellt ist, daß die einzelnen Elektroden nicht elektrisch miteinander verbunden sind.

Die Grünschlachten 11 und 12 werden in der in Fig. 8 gezeigten Orientierung übereinandergelegt und nach Druckausübung in Richtung ihrer Dicke gesintert und schließlich der Polarisationsbehandlung unterzogen, so daß man die in Fig. 9 und 10 gezeigte piezoelektrische Resonanzeinrichtung erhält.

Die Polarisationsbehandlung wird ausgeführt, indem man eine positive Spannung an die streifenförmigen Elektroden 15a bis 15j anlegt, die an den Stirnflächen des gesinterten Körpers freiliegen, und indem man eine negative Spannung an die Elektroden 13 und 16 auf den oberen und unteren Flächen des gesinterten Körpers anlegt. Auf diese Weise ergibt sich eine entgegengesetzte Polarisierung der piezoelektrischen Keramikschichten in Richtung ihrer Dicke, wie durch Pfeile in Fig. 9 und 10 angegeben wird.

Nach der Polarisationsbehandlung werden die streifenförmigen Elektroden 15a bis 15j elektrisch voneinander getrennt. Wenn die Elektroden 15a bis 15j bei der Polarisationsbehandlung an den Stirnseiten elektrisch miteinander verbunden waren, so werden die elektrischen Verbindungen anschließend unterbrochen, beispielsweise indem die Stirnflächen angeschliffen werden.

Im Betrieb kann eine Resonanzschwingung der piezoelektrischen Resonanzeinrichtung erregt werden, indem periodisch eine positive oder negative Spannung über die Anschlußbahn 14 an die Elektrode 13 und eine negative bzw. positive Spannung über die Anschlußbahn 17 an die Elektrode 16 angelegt wird. Ebenso wie bei dem ersten Ausführungsbeispiel wird auch bei dem zweiten Ausführungsbeispiel verstärkt eine zweite Oberschwingung der Längsmode angeregt, so daß die piezoelektrische Resonanzeinrichtung im Bereich hoher Frequenzen eingesetzt werden kann.

Die Impedanzkurve der Resonanzeinrichtung nach dem zweiten Ausführungsbeispiel ist in Fig. 11 als durchgezogene Linie dargestellt. Zum Vergleich ist in Fig. 11 als gestrichelte Linie die Impedanzkurve einer Resonanzeinrichtung mit dem in Fig. 1 gezeigten Aufbau dargestellt.

Wie in Fig. 11 zu erkennen ist, tritt bei der Resonanzeinrichtung nach Fig. 1 in der Impedanzkurve im Frequenzbereich zwischen der Resonanzfrequenz und der Parallelresonanzfrequenz ein Sprung auf, der durch eine unerwünschte Schwingungsmoden verursacht wird. In der Impedanzkurve der Resonanzeinrichtung nach dem zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung ist dagegen ein solcher Sprung nicht zu beobachten. Folglich wird durch den Aufbau der Resonanzeinrichtung nach dem zweiten Ausführungsbeispiel eine wirksame Unterdrückung der störenden Schwingungsmoden erreicht.

Weiterhin ist erkennbar, daß bei dem zweiten Ausführungsbeispiel der Abstand zwischen der Resonanzfrequenz und der Parallelresonanzfrequenz gegenüber dem Vergleichsbeispiel nach Fig. 1 vergrößert ist. Dies liegt daran, daß bei dem Vergleichsbeispiel eine Streukapazität zwischen der inneren Elektrode 5a und den Anschlußbahnen 4 und 7 auf der Ober- und Unterseite auftritt und durch diese Streukapazität eine störende Schwingungsmoden angeregt wird und daß die Streukapazität parallel zu der Kapazität zwischen den einander überlappenden Elektroden liegt, so daß die Gesamtkapazität erhöht wird.

Andererseits werden bei dem zweiten Ausführungsbeispiel durch die streifenförmigen inneren Elektroden 15a bis 15j Streukapazitäten durch Wechselwirkung mit den Anschlußbahnen 14 und 17 gebildet. Da jedoch die einzelnen Elektroden 15a bis 15j nicht miteinander verbunden sind, sind die durch die einzelnen streifenförmigen Elektroden bedingten Streukapazitäten voneinander getrennt, und sie liegen in Reihe zwischen den Elektroden. Folglich ist der Beitrag der Kapazität zwischen den streifenförmigen inneren Elektroden 15a bis 15j und den Anschlußbahnen 14 und 17 zu der Gesamtkapazität verringert. Dies führt zu der Unterdrückung der störenden Resonanzen und zu der Vergrößerung der Breite des Frequenzbands zwischen der Resonanzfrequenz und der Parallelresonanzfrequenz.

Bei dem zweiten Ausführungsbeispiel schließt der Bereich, der von den streifenförmigen Elektroden 15a bis 15j eingenommen wird, den Bereich ein, in dem sich die auf der Ober- und Unterseite ausgebildeten Elektroden 13 und 16 überlappen. Auch wenn die Positionen der Elektroden 13 und 16 geringfügig gegenüber den streifenförmigen Elektroden 15a bis 15j versetzt sind, ergibt sich daher keine nennenswerte Änderung der Eigenschaften, solange die äußeren Elektroden in der Draufsicht innerhalb des Gebietes liegen, in dem die streifenförmigen Elektroden 15a bis 15j ausgebildet sind.

Eine Abwandlung des oben beschriebenen zweiten Ausführungsbeispiels soll nachfolgend unter Bezugnahme auf Fig. 12 und 13 erläutert werden. Gemäß Fig. 12 sind mehrere geradlinige, streifenförmige Elektroden 25 im Inneren eines gesinterten Körpers 20 ausgebildet. Diese abgewandelte Ausführungsform gleicht dem zuvor beschriebenen zweiten Ausführungsbeispiel mit der Ausnahme, daß die Elektroden 23a und 26a auf der Oberseite und der Unterseite des gesinterten Körpers 20 von der Polarisationsbehandlung jeweils die gesamte Grundfläche des gesinterten Körpers einnehmen und daß der Keramikkörper in diesem Zustand polarisiert wird. Das Keramikmaterial wird somit durch Anlegen einer negativen Spannung an die großflächigen Elektroden 23a und 26a und Anlegen einer positiven Spannung an jede der streifenförmigen Elektroden 25 in einem großen

Flächenbereich polarisiert, wie durch Pfeile in Fig. 12 und 13 veranschaulicht wird.

Anschließend werden die äußeren Elektroden 23a und 26a geätzt, so daß lediglich die zum Energieeinfang dienenden Arbeitselektroden und die Anschlußbahnen übrigbleiben. Gemäß Fig. 13A wird auf der oberen Oberfläche des gesinterten Körpers 20 eine kreisförmige Elektrode 23 und eine streifenförmige Anschlußbahn 24 gebildet. In ähnlicher Weise werden eine Elektrode und eine Anschlußbahn auf der unteren Oberfläche des gesinterten Körpers ausgebildet.

Fig. 13B zeigt einen Schnitt durch die piezoelektrische Resonanzeinrichtung in der oben beschriebenen Ausführungsform. Bei dieser Resonanzeinrichtung wird die Energie in dem zwischen den Elektroden 23 und 26 liegenden, in der Zeichnung durch einen Pfeil C angegebenen Gebiet des gesinterten Körpers "eingefangen" oder absorbiert. Da jedoch der gesinterte Körper auch in der Umgebung dieses Gebiets polarisiert ist, kann die Energie wirksamer und vollständiger aufgenommen werden.

Bei der Bildung der jeweils die gesamte Grundfläche einnehmenden Elektroden 23a und 26a auf der Oberseite und der Unterseite des gesinterten Körpers 20 gemäß Fig. 12 kann Elektrodenpaste jeweils auf die gesamte Oberfläche der betreffenden Grünschicht aufgetragen werden. Wahlweise ist es auch möglich, die Elektroden nach der Herstellung des gesinterten Körpers 20 auf die Oberflächen der Keramikschichten aufzudrucken und zu sintern. Auch bei diesem modifizierten Ausführungsbeispiel müssen die streifenförmigen Elektroden 25 elektrisch voneinander getrennt werden, bevor die Resonanzeinrichtung in Betrieb genommen wird.

Obgleich gemäß der obigen Beschreibung des zweiten Ausführungsbeispiels und der Abwandlungen desselben lediglich drei Elektroden vorgesehen sind, von denen die mittlere durch mehrere getrennte Streifen gebildet wird, läßt sich diese Grundstruktur auch bei piezoelektrischen Resonanzeinrichtungen anwenden, bei denen vier oder mehr einander überlappende Elektroden vorgesehen sind. In diesem Fall lassen sich die oben erläuterten Wirkungen erreichen, indem wenigstens eine der Elektroden durch eine Vielzahl streifenförmiger Teilelektroden gebildet wird. Auch in diesem Fall kann das Gebiet, das von den streifenförmigen Teilelektroden eingenommen wird und den Bereich zulässiger Positionen für die Elektroden auf den äußeren Oberflächen bestimmt, vergrößert werden, und störende Schwingungen können wirksam unterdrückt werden.

Nachfolgend soll unter Bezugnahme auf Fig. 14 bis 18 ein Verfahren zur Herstellung einer piezoelektrischen Resonanzeinrichtung gemäß einem dritten Ausführungsbeispiel der Erfindung erläutert werden.

Gemäß Fig. 14 werden erste und zweite keramische Grünschichten 31 und 32 in einem Rakel-Verfahren oder dergleichen hergestellt. Elektrodenpaste, die hauptsächlich Ag—Pd, Pt oder dergleichen enthält, wird streifenförmig auf die obere Oberfläche der keramischen Grünschicht 32 aufgedruckt. Die Grünschichten 31, 32 werden so übereinandergelegt, daß die durch die Elektrodenpaste gebildeten streifenförmigen Elektroden 33a—33e an der inneren Grenzfläche zwischen den Grünschichten liegen, und durch Druckausübung in Richtung der Dicke der Grünschichten wird ein Schichtkörper hergestellt, der anschließend gesintert wird.

Beim Aufdrucken der Elektrodenpaste zur Bildung der streifenförmigen Elektroden 33a bis 33e werden Anschlußbereiche 33p, die in Fig. 14 strichpunktiert dargestellt sind, an den Enden der Grünschicht 32 ausgebildet. Durch diese Anschlußbereiche werden die streifenförmigen Elektroden elektrisch miteinander verbunden.

Gemäß Fig. 15 werden Elektroden 35 und 36 annähernd auf ganzer Fläche auf der Oberseite und der Unterseite des gesinterten Körpers 34 angebracht. Die Elektroden 35 und 36 können durch jedes geeignete Verfahren hergestellt werden, beispielsweise durch Sintern von Leitpaste, Sputtern oder Vakuumbedampfung. In ähnlicher Weise wird eine zur Polarisierung dienende Elektrode 37 in einem Stirnflächenbereich aufgedruckt und gesintert, in dem die inneren Elektroden 33a bis 33e freiliegen.

Gemäß Fig. 15 wird bei der Bildung der Elektroden 35 und 36 auf der Oberseite und der Unterseite des gesinterten Körpers 34 jeweils ein Randstreifen ausgespart, so daß eine leitende Verbindung der Elektroden 35 und 36 und der zum Polarisieren dienenden Elektrode 37 vermieden wird. Wenn jedoch ein elektrischer Kontakt zwischen den Elektroden 35, 36 und der Elektrode 37 auf andere Weise verhindert werden kann, können die Elektroden 35 und 36 auf der gesamten Oberfläche bzw. der gesamten unteren Oberfläche des gesinterten Körpers ausgebildet werden.

Anschließend wird der gesinterte Körper 34 in der in Fig. 15 gezeigten Weise polarisiert, indem eine Spannung zwischen den Elektroden 35, 36 auf der Ober- und Unterseite und der Elektrode 37 angelegt wird. Fig. 16 zeigt den gesinterten Körper 34 nach dem Polarisieren. Der gesinterte Körper 34 ist in den Schichten beiderseits der streifenförmigen Elektroden 33a bis 33e in Richtung seiner Dicke entgegengesetzt polarisiert.

Die Elektroden 35 und 36 auf der Ober- und Unterseite des gesinterten Körpers 34 werden anschließend geätzt. Durch das Ätzen werden mehrere Arbeitselektroden 38a und Anschlußbahnen 38b auf der oberen Oberfläche gebildet, wie in der Draufsicht in Fig. 17 zu erkennen ist. Auf der Unterseite werden Arbeitselektroden und Anschlußbahnen von gleicher Form gebildet, wie in Fig. 17 durch gestrichelte Linien angedeutet wird. Durch das Ätzen wird somit eine Struktur geschaffen, bei der sich mehrere Elektrodenpaare für den Energieeinfang auf den entgegengesetzten Oberflächen des gesinterten Körpers gegenüberliegen und jeweils mit den streifenförmigen inneren Elektroden 33a bis 33e überlappen.

Da die inneren Elektroden 33a bis 33e an den Stirnflächen des gesinterten Körpers 34 freiliegen, können die Positionen der äußeren Elektroden bei dem Ätzprozeß präzise eingestellt werden, so daß sich auf einfache Weise eine genaue Überlappung der Arbeitselektroden 38a mit den streifenförmigen inneren Elektroden gewährleisten läßt.

Anschließend wird der in Fig. 17 gezeigte gesinterte Körper 34 so zerteilt, daß man einzelne piezoelektrische Resonanzeinrichtungen erhält, die jeweils ein Elektrodenpaar 38a aufweisen. Eine auf diese Weise erhaltene piezoelektrische Resonanzeinrichtung 40 ist in Fig. 18 in der Draufsicht dargestellt. Die zur Bildung der Energiefalle dienenden Elektroden 38a (von denen in der Zeichnung nur eine zu erkennen ist) sind auf den oberen und unteren Oberflächen eines gesinterten Körpers 34a ausgebildet, so daß sie in Richtung der Dicke des gesinterten Körpers mit einer streifenförmigen inneren Elektrode 33a überlappen. Die Anschlußbahnen 38b und 39b für die

beiden äußeren Elektroden verlaufen zu entgegengesetzten Rändern des gesinterten Körpers 34a.

Bei dem Verfahren zur Herstellung der piezoelektrischen Resonanzeinrichtung gemäß diesem Ausführungsbeispiel werden die zur Bildung der Energiefalle dienenden Elektroden 38a auf den oberen und unteren Oberflächen durch Ätzen derart geformt, daß sie mit den streifenförmigen inneren Elektroden 33a bis 33e in Richtung der Dicke der piezoelektrischen Keramikschrift überlappen. Folglich wird bei dem oben beschriebenen Ätzzvorgang die Genauigkeit der Überlappung der Elektroden 38a mit den streifenförmigen inneren Elektroden 33a bis 33e selbst dann nicht verringert, wenn die Positionen, in denen die Elektroden 38 gebildet werden, etwas in der Richtung *D* in Fig. 17, also in Längsrichtung der inneren Elektroden, versetzt sind. Die Genauigkeit der Überlappung der inneren Elektroden mit den zur Bildung der Energiefalle dienenden Elektroden kann somit bei der Herstellung der schichtförmigen piezoelektrischen Resonanzeinrichtung beträchtlich gesteigert werden.

Bei dem oben beschriebenen Ausführungsbeispiel haben die streifenförmigen inneren Elektroden 33a bis 33e eine einheitliche Breite. Die Form dieser inneren Elektroden ist jedoch nicht auf die oben beschriebene Streifenform beschränkt, sofern die Länge der inneren Elektroden größer ist als ihre Breite. Wie beispielsweise in Fig. 19A, 19B und 19C gezeigt ist, können die inneren Elektroden unterschiedlich geformte breite Abschnitte 41, 42 bzw. 43 aufweisen, die in Längsrichtung der streifenförmigen Elektroden angeordnet sind und teilweise der Formen den Energiefallen-Elektroden auf den oberen und unteren Oberflächen, d. h., den Überlappungsbereichen der Elektroden entsprechen.

Auch wenn die Elektroden die in Fig. 19A, 19B oder 19C gezeigte Form aufweisen, ergibt sich die oben beschriebene vorteilhafte Wirkung, sofern die breiteren Abschnitte 41, 42, 43 eine größere Länge aufweisen als die Elektroden auf der Ober- und Unterseite. Wenn die Länge der breiteren Abschnitte 41, 42, 43 groß gewählt wird, so wird die Positionierung der äußeren Elektroden in Längsrichtung der langgestreckten inneren Elektroden vereinfacht, und die Genauigkeit der Überlappung zwischen den inneren Elektroden und den äußeren Elektroden kann verbessert werden.

Während bei dem oben beschriebenen Ausführungsbeispiel eine Vielzahl von streifenförmigen Elektroden oder Bereichen mit Elektrodenpaste auf einer ausgedehnten Grünschrift ausgebildet wird, um eine Vielzahl von piezoelektrischen Resonanzeinrichtungen in einem Arbeitsgang herzustellen, läßt sich die gleiche Struktur auch dann verwirklichen, wenn nur eine einzige Resonanzeinrichtung aus einer Grünschrift hergestellt wird, auf die ein einziger streifenförmiger Bereich mit Elektrodenpaste aufgedruckt ist und deren Größe der Größe der piezoelektrischen Resonanzeinrichtung entspricht.

Weiterhin ist es möglich, jeweils zwei oder mehr erste und zweite keramische Grünschriften übereinanderzulegen. Die Erfindung ist somit auch bei der Herstellung von piezoelektrischen Resonanzeinrichtungen anwendbar, bei denen mehrere streifenförmige äußere Elektroden schichtweise angeordnet sind und die Gesamtzahl der Elektroden vier oder mehr beträgt.

Patentansprüche

1. Piezoelektrische Resonanzeinrichtung, in der eine Oberschwingung der Längsschwingungsmoden anregbar ist, insbesondere zur Bildung einer Energiefalle durch Frequenzherabsetzung, mit

- einem plattenförmigen Körper (10; 20; 40) aus polarisiertem piezoelektrischen Material,
- zwei äußeren Elektroden (13, 16; 23, 26; 38a) und
- wenigstens einer inneren Elektrode (15; 15a—15j; 25; 33a), die zwischen den äußeren Elektroden angeordnet und durch Schichten (11, 12; 31, 32) des piezoelektrischen Materials von diesen getrennt ist, wobei die äußeren und inneren Elektroden einander im Grundriß überlappen,

dadurch gekennzeichnet, daß bei wenigstens einer der äußeren Elektroden (13, 16; 23, 26) der Durchmesser (*d*) im Fall einer kreisförmigen Elektrode bzw. die Länge einer Seite im Fall einer polygonalen Elektrode größer ist als der Durchmesser bzw. die Länge (*w*) einer Seite der inneren Elektrode (15; 15a—15j; 25).

2. Piezoelektrische Resonanzeinrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die innere Elektrode (15) eine rechteckige Grundrißform aufweist und daß die Länge (*w*) der kürzeren Seite dieser Elektrode kleiner ist als der Durchmesser (*d*) bzw. die Länge einer Seite jeder der äußeren Elektroden (13, 16).

3. Piezoelektrische Resonanzeinrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die äußeren Elektroden (13, 16) mit leitenden Anschlußbahnen (14, 17) verbunden sind, die zu den Kanten des Körpers (10) führen und daß die innere Elektrode (15) so angeordnet ist, daß sie nicht mit den Anschlußbahnen (14, 17) überlappt.

4. Piezoelektrische Resonanzeinrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß sich die innere Elektrode (15) in Längsrichtung bis zu den Rändern des plattenförmigen Körpers (10) erstreckt.

5. Piezoelektrische Resonanzeinrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere innere Elektroden (15a—15j; 25) derart in einer Ebene angeordnet sind, daß zwischen ihnen keine elektrische Verbindung besteht, und daß die Länge der kürzeren Seite jeder dieser inneren Elektroden kleiner ist als der Durchmesser bzw. die Seitenlänge jeder der äußeren Elektroden (13, 16; 23, 26).

6. Piezoelektrische Resonanzeinrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die inneren Elektroden (15a—15j; 25) verteilt in einem Gebiet angeordnet sind, das den Grundriß der äußeren Elektroden (13, 16; 23, 26) einschließt.

7. Piezoelektrische Resonanzeinrichtung nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1, dadurch gekennzeichnet, daß die innere Elektrode ein Gebiet einnimmt, das den Grundriß der äußeren Elektroden einschließt, und daß die innere Elektrode durch mehrere elektrisch unverbundene Elektrodenabschnitte (15a—15j; 25) gebildet wird.

8. Verfahren zur Herstellung einer piezoelektrischen Resonanzeinrichtung nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1, gekennzeichnet durch die folgenden Schritte:

- eine Leitpaste wird in Form von Streifen (33a—33e) auf erste ungebrannte Schichten (32) des piezoelektrischen Materials aufgetragen,
— wenigstens eine erste Schicht (32) und wenigstens eine zweite ungebrannte Keramikschicht (31), auf die keine Leitpaste aufgetragen ist, werden derart übereinandergelegt und durch Druckausübung zu einem Schichtkörper (34) verbunden, daß sich die Streifen der Leitpaste im Inneren des Schichtkörpers befinden,
— der Schichtkörper (34) wird gesintert,
— äußere Elektroden (35, 36) werden auf der oberen und unteren Oberfläche des gesinterten Körpers (34) angeordnet,
— durch Anlegen einer Spannung zwischen den durch die Leitpaste gebildeten streifenförmigen inneren Elektroden (33a—33e) einerseits und den Elektroden (35, 36) auf den oberen und unteren Oberflächen des gesinterten Körpers andererseits wird der gesinterte Körper polarisiert und
— die auf den oberen und unteren Oberflächen des gesinterten Körpers gebildeten Elektroden werden derart bearbeitet, daß hieraus die mit den inneren Elektroden überlappenden äußeren Elektroden (38a) gebildet werden.

Hierzu 11 Seite(n) Zeichnungen

– Leerseite –

FIG. 1

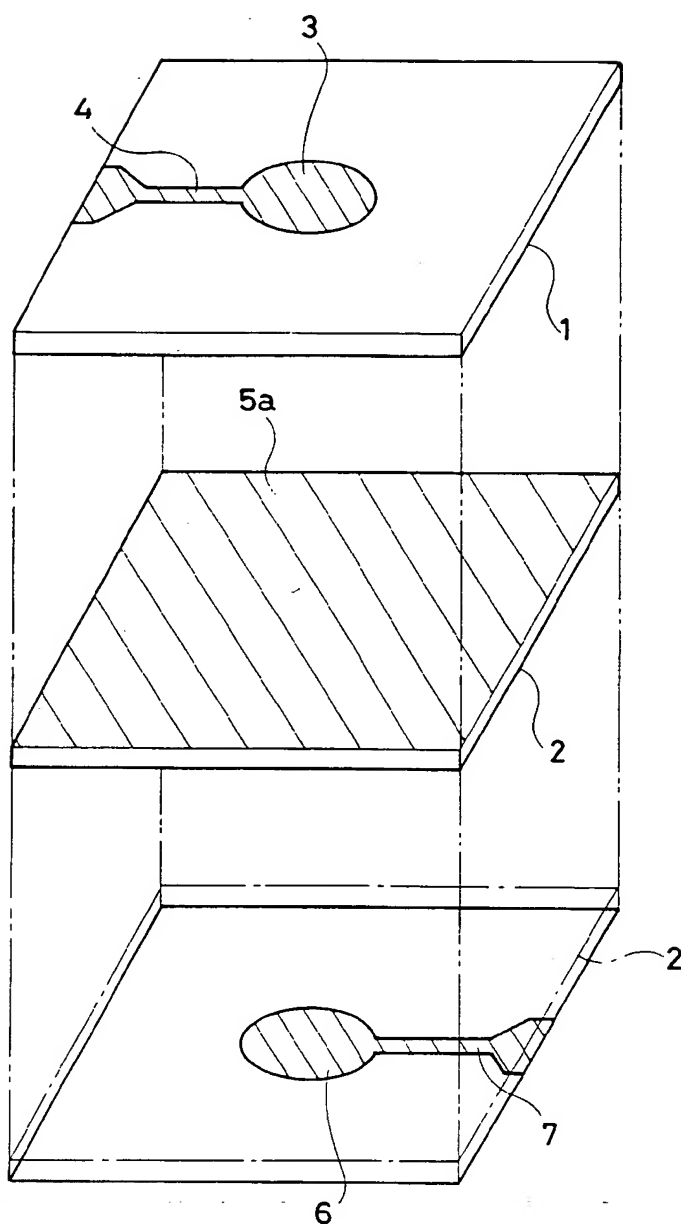


FIG.2

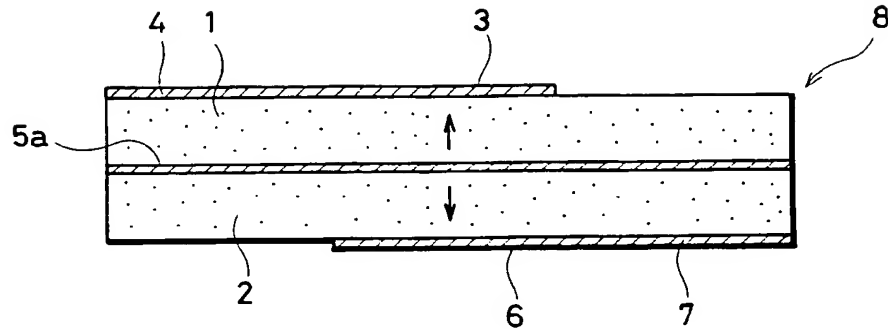


FIG.3

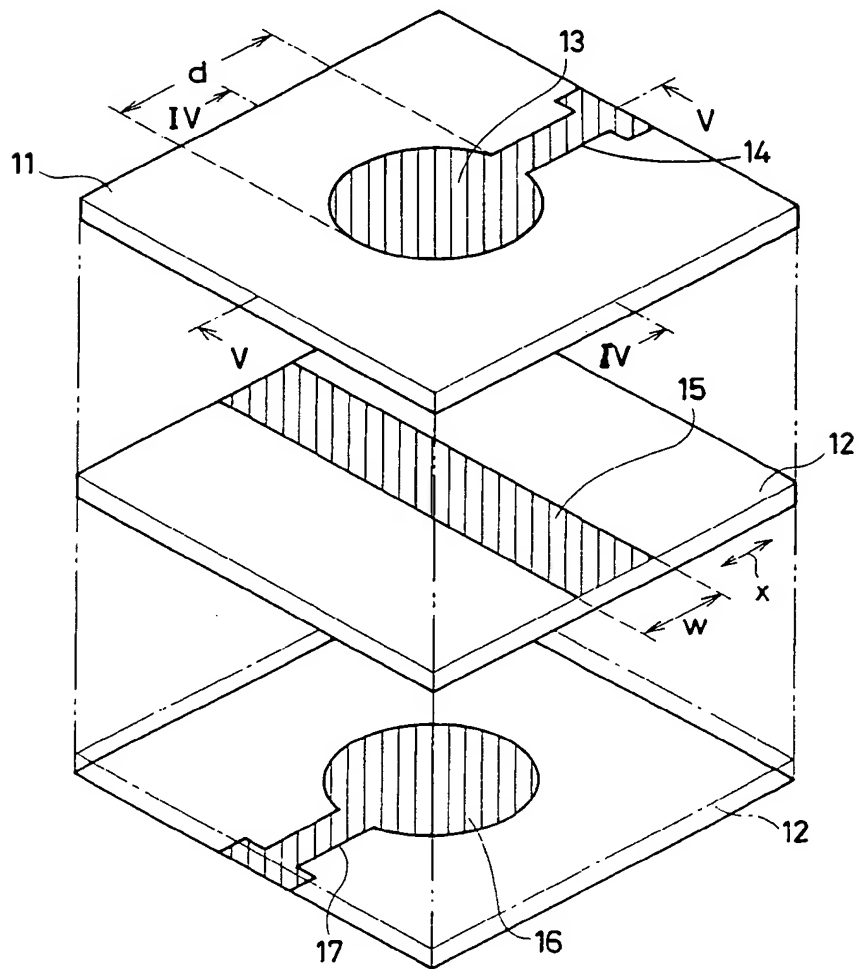


FIG. 4

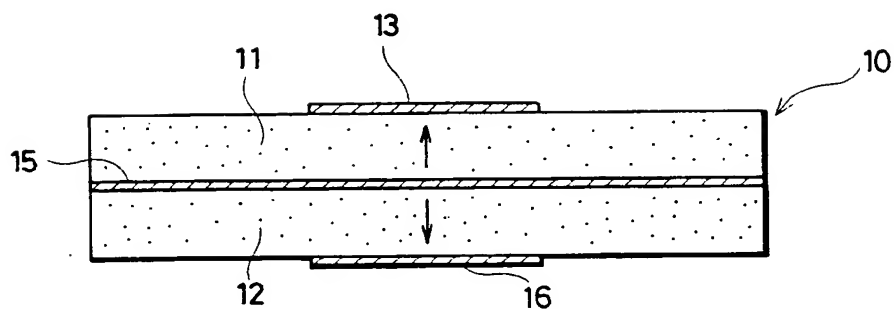


FIG. 5

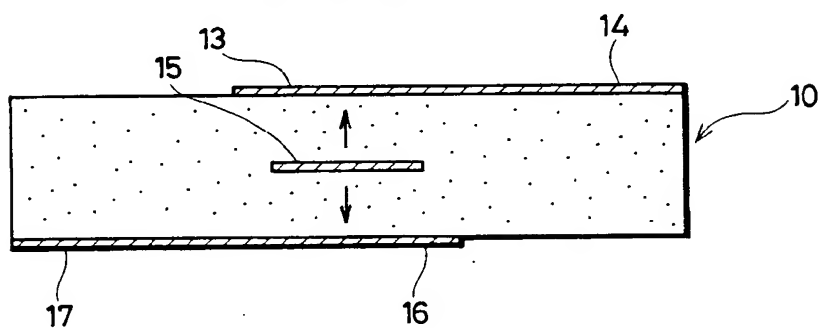


FIG.6

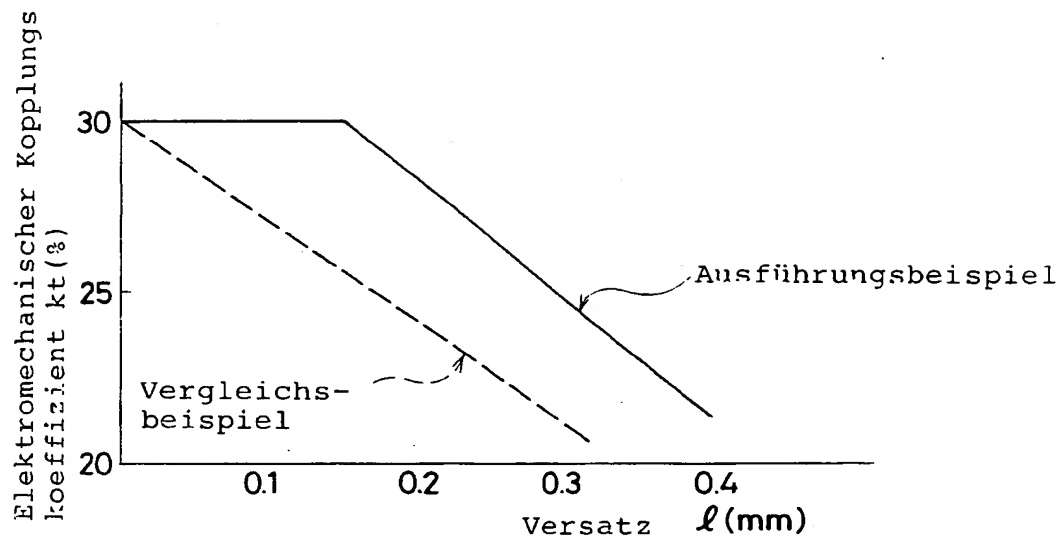


FIG.7

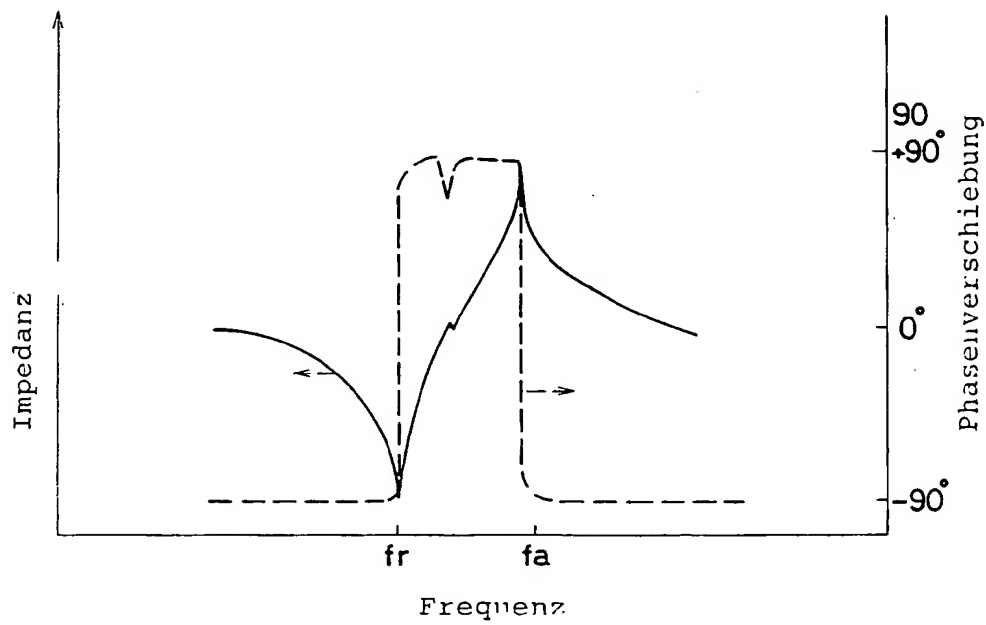


FIG. 8

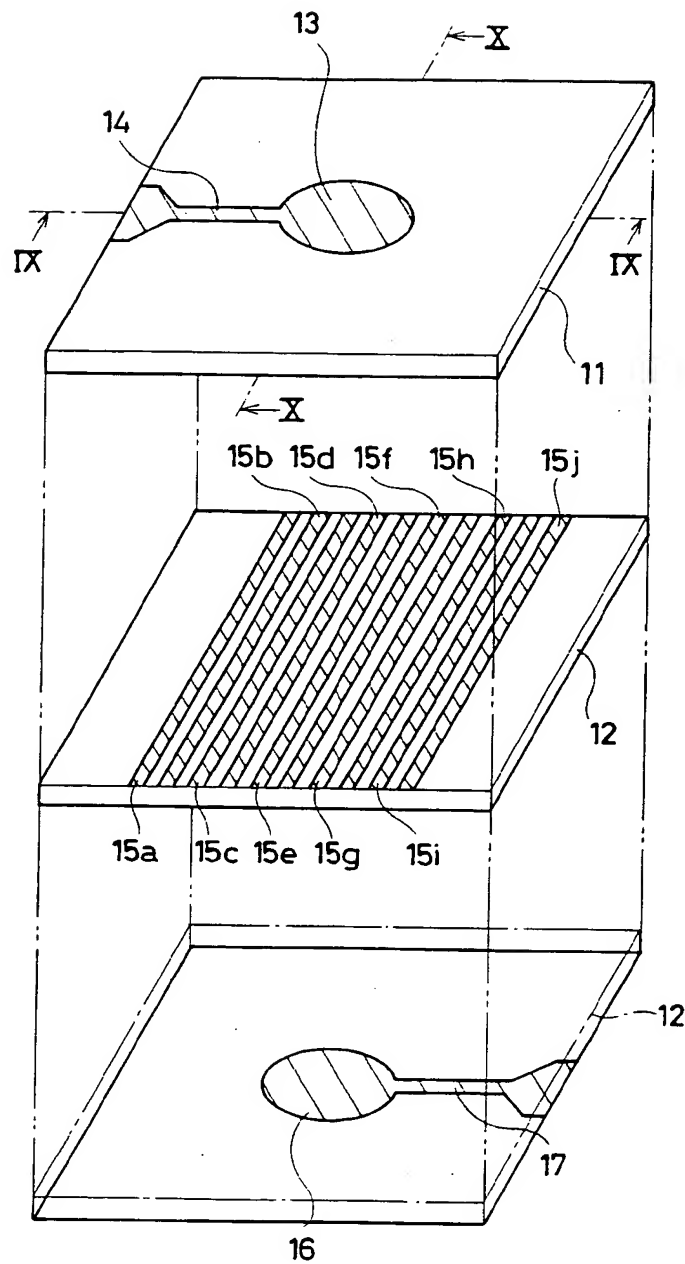


FIG.9

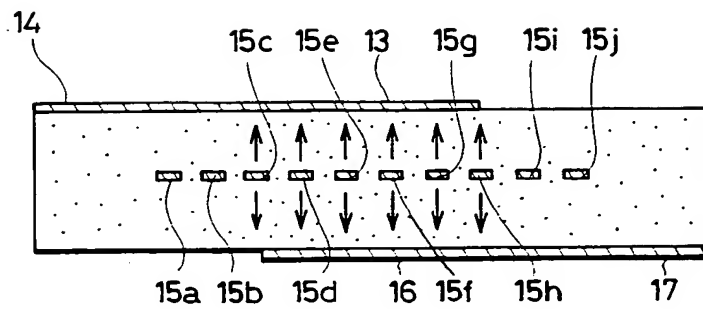


FIG.10

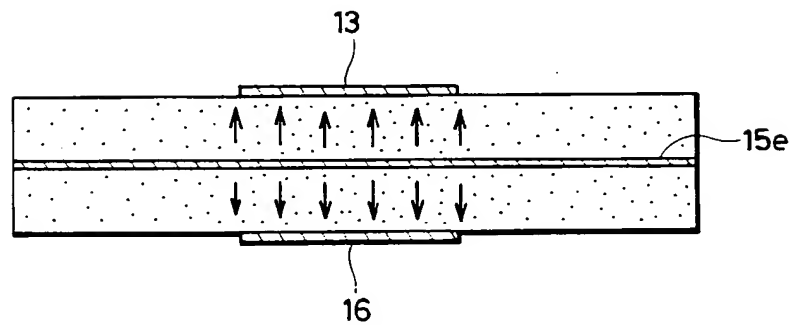


FIG.11

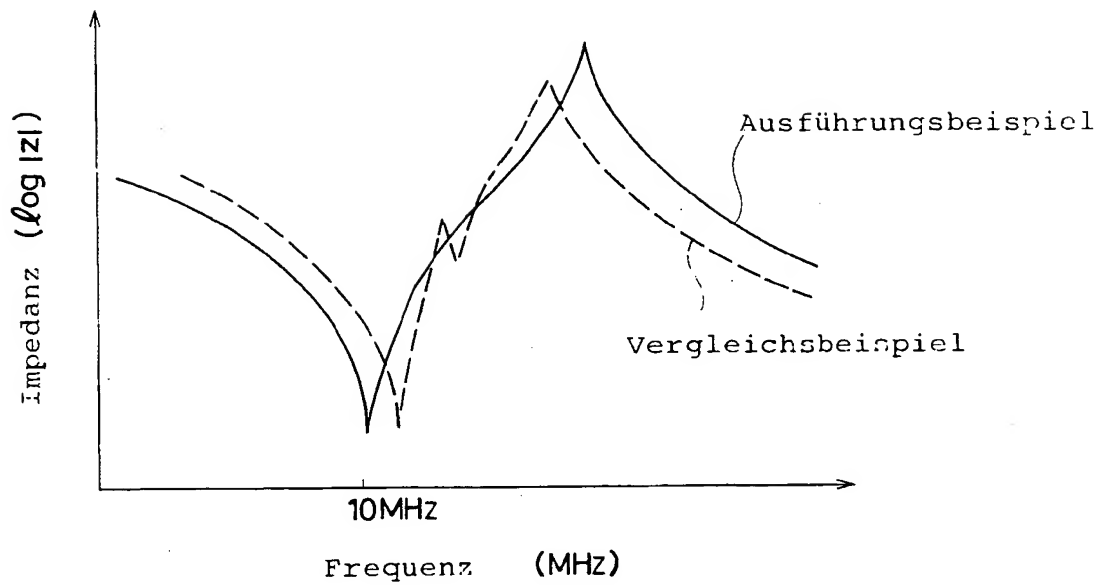


FIG. 12

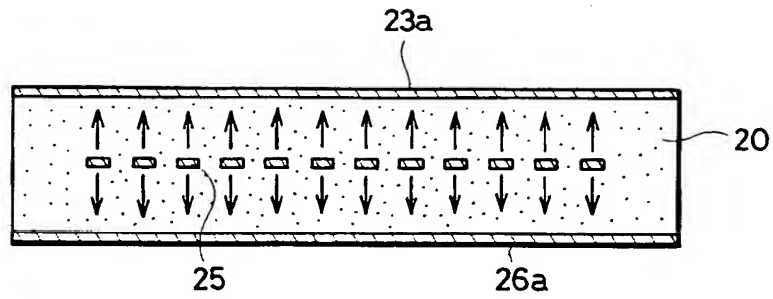


FIG. 13A

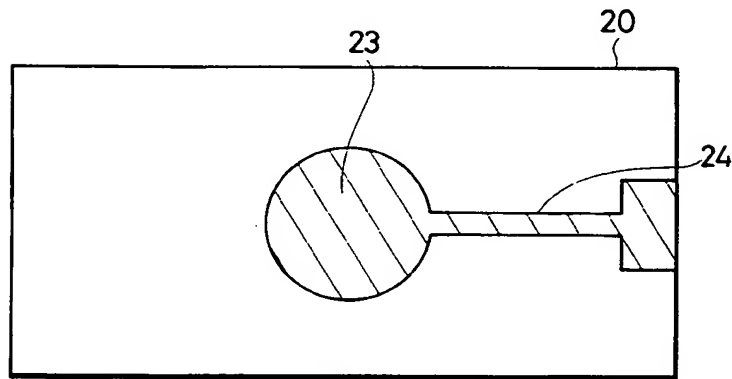


FIG. 13B

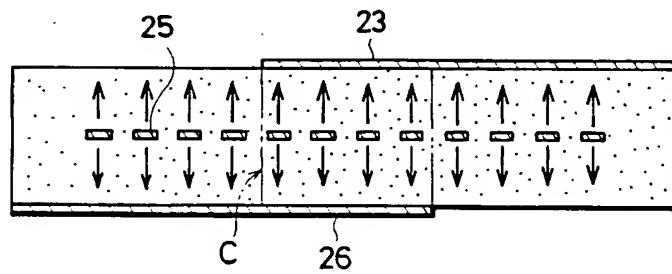


FIG. 14

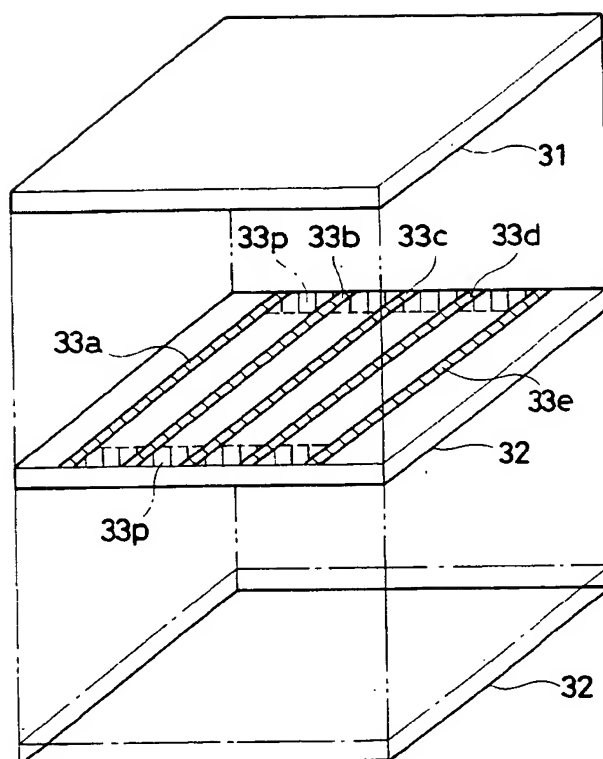


FIG. 15

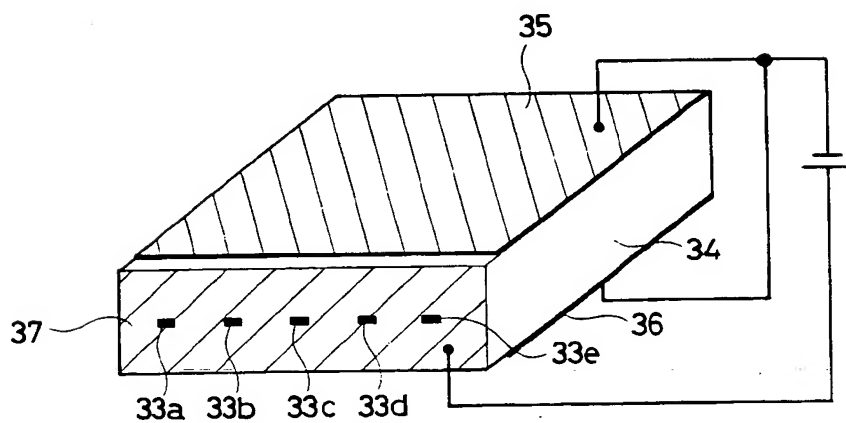


FIG. 16

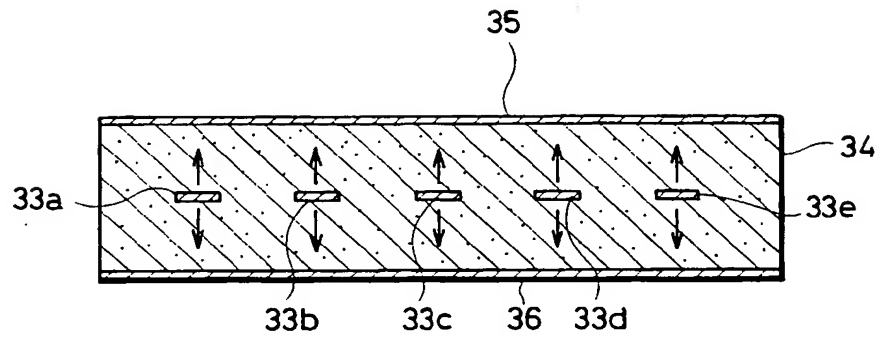


FIG. 17

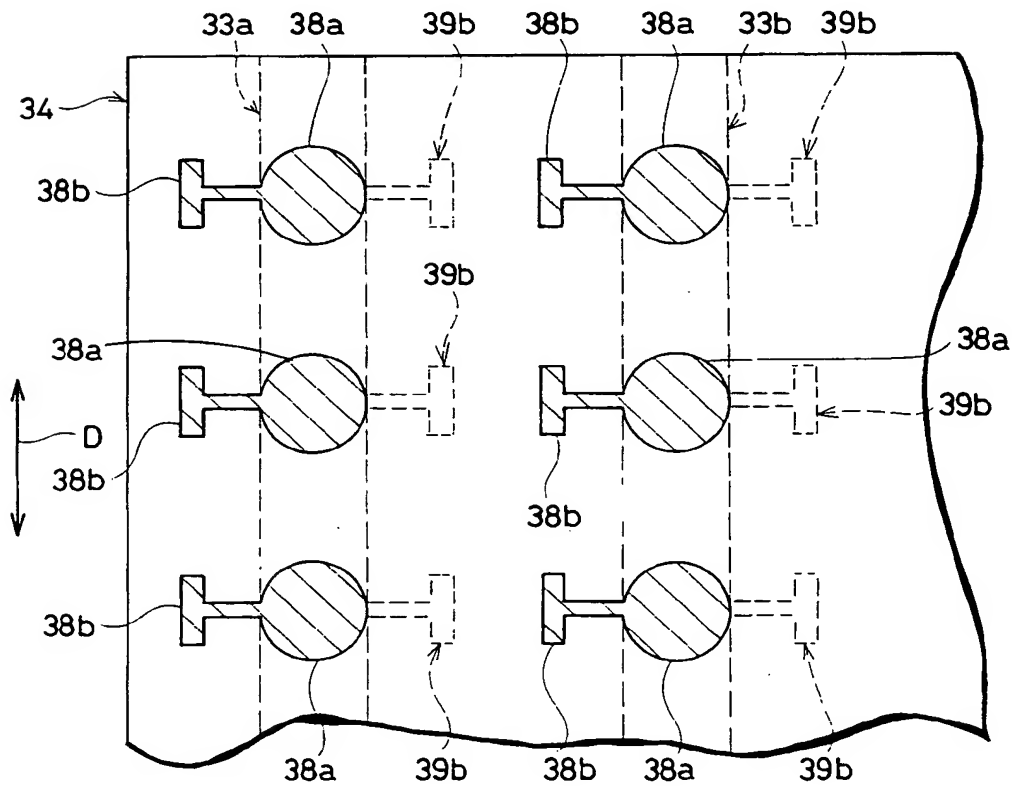


FIG.18

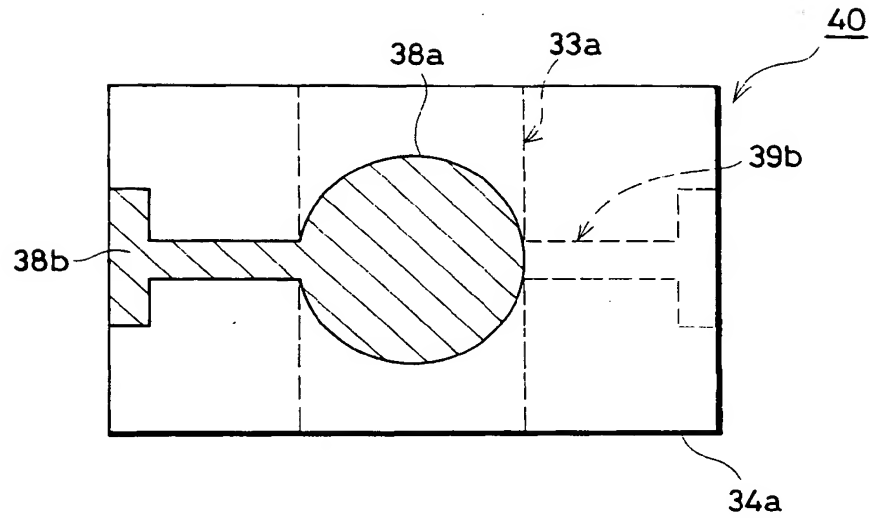


FIG.19A

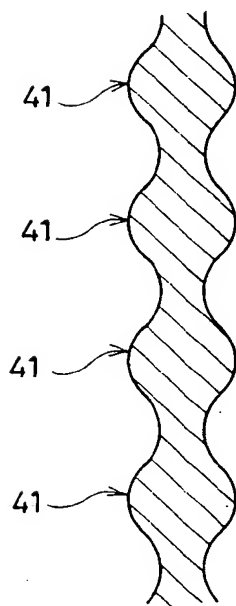


FIG.19B

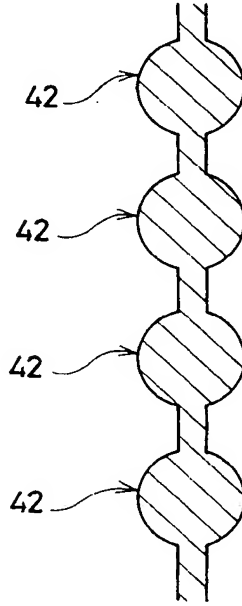
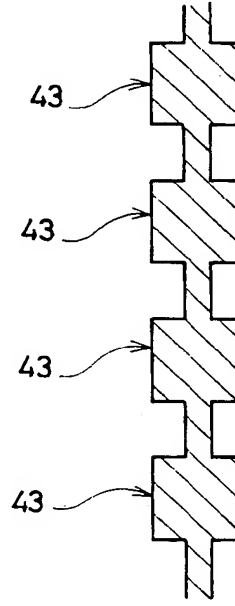


FIG.19C



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USPTO)